Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir



Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 1013-1027

Effect of Postharvest Application of Gamma-aminobutyric Acid on Respiration Rate and Some Qualitative Characteristics of Peruvian Groundcherry (*Physalis peruviana* L.) Fruit During Storage

P. Hayati[1], M. Hosseinifarahi[2,3*], Gh. Abdi[4], M. Radi[3,5], L. Taghipour[6], P. Assar[6]

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mehdi.hosseinifarahi@iau.ac.ir)
3- Sustainable Agriculture and Food Security Research Group, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran
4- Department of Biotechnology, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, 75169, Iran
5- Associate Professor, Department of Food Science, Yasuj Branch, Islamic Azad University, Yasuj, Iran
6- Assistant Professor of Horticultural Science, Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Jahrom University, PO Box: 74135-111, Jahrom, Iran

Received: 13-12-2022 Revised: 27-05-2023 Accepted: 11-06-2023 Available Online: 11-06-2023	**How to cite this article:** Hayati, P., Hosseinifarahi, M., Abdi, Gh., Radi, M., Taghipour, L., & Assar, P. (2024). Effect of postharvest application of gamma-aminobutyric acid on respiration rate and some qualitative characteristics of Peruvian groundcherry (*Physalis peruviana* L.) Fruit During Storage. *Journal of Horticultural Science, 37*(4), 1013-1027. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80053.1215

Introduction

The Peruvian Groundcherry (*Physalis peruviana* L.) is a perennial plant that is native to the South American regions and belongs to the Solanaceae family. The harvested fruits are vulnerable to both biotic and abiotic stresses, which can trigger unfavorable physiological and biochemical changes. As a result, the quality and marketability of the product may decrease by the time it reaches the consumer. The fruit of the Peruvian Groundcherry has a high water content and is sensitive to ethylene, causing rapid ripening with a high respiration rate, making it highly perishable. To ensure quality maintenance after harvest, various postharvest treatments are being studied; however, some methods may not be practical due to low customer preference or lack of effectiveness verification. Therefore, alternative treatments need to be found to prolong shelf life and reduce postharvest losses. Currently, environmentally friendly technologies and treatments are recommended. The aim of this study was to investigate the effects of γ-Aminobutyric acid (GABA) postharvest treatment on the respiration rate, antioxidant activities, and fruit quality of the Peruvian Groundcherry during 21 days of storage, addressing a research gap in this area.

Materials and Methods

Handpicked Peruvian Groundcherry fruits were taken from a commercial greenhouse located in Fars province, Iran. The fruits were picked at two stages of maturity based on their color, which was either yellowish green or orange. Following the harvest, the fruits were taken to a horticulture laboratory where they were assessed for appearance, size, color, and any damages. The experimental design was factorial based on a completely randomized design with three replications, each containing 25 fruits. Experimental factors included the GABA concentration (0, 5, 10 and 15 mM), storage time (7, 14 and 21 days) and fruit maturity stage based on color at harvest (yellowish green and orange). Following dip treatments in GABA solutions, fruits were packed in plastic clamshells measuring 20×5×10 cm^3 and with a hole ratio of 3%. Fruits were stored at a temperature of 15 °C for 21 days, and their quality characteristics and respiration rate were evaluated on a weekly



https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80053.1215

basis.

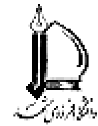
Results and Discussion

The findings indicated that both groups of treated fruits had a slower increase in respiration rate and lower final respiration rate compared to the control group. The effect of different concentrations of GABA on the final respiration rate of fruits was similar for each stage of fruit maturity. During the storage period, the changes in total soluble solids and total acids of the treated fruits were less than the control group. At the end of the storage period, yellowish green fruits treated with 10 and 15 mM GABA had the lowest amount of total soluble solids; orange fruits had the lowest amount with 15 mM GABA treatment. GABA concentrations had a similar effect on total acids retention of yellowish green fruits, but 15 mM GABA treatment was more effective for orange fruits. Ascorbic acid content and phenylalanine ammonia-lyase enzyme activity were consistently higher in treated fruits than in the control group. In green fruits treated with GABA concentrations, the amount of ascorbic acid increased significantly and continuously, with no significant difference between treatments at the end of storage period. Orange fruits showed a significant increase until the second week of storage, followed by a non-significant decrease. Higher amounts of ascorbic acid in orange fruits were detected by applying higher GABA concentrations. Both groups of fruits had significantly higher amounts of total phenol, carotenoid, and antioxidant capacity in response to increasing GABA concentration, while the minimum amount of these compounds during the storage period was related to the control group. However, orange-colored fruits were more sensitive to treatments compared to yellowish green fruits.

Conclusions

The results of the present study indicate a positive effect of postharvest GABA treatment on reducing respiration rate, improving antioxidant activities, and maintaining the quality and nutritional value of Peruvian groundcherry fruit during a 21-day storage period. Considering the global preference and demand among governments and consumers to use environmentally-friendly treatments of biological origin that pose no risk to human health, we recommend the use of GABA treatment for optimal storage of Peruvian groundcherry fruit. Finally, it is recommended to assess the efficacy of GABA or other safe and environmentally-friendly postharvest treatments on the quality and shelf life of other valuable horticultural commodities.

Keywords: Antioxidant activity, GABA, Peruvian groundcherry, Respiration rate



نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۲، ص. ۱۰۲۷-۱۰۱۳

تأثیر تیمار پس از برداشت گاما آمینوبوتریک اسید بر شدت تنفس و برخی خصوصیات کیفی میوه عروسک پشت پرده (*Physalis peruviana* L.) در دوره انبارمانی

پریسا حیاتی[۱]- مهدی حسینی فرهی[۲و۳*]- غلامرضا عبدی[٤]- محسن رادی[۳و۵]- لیلا تقی پور[٦]- پدرام عصار[٦]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات تیمار پس از برداشت غوطه‌وری در گاما- آمینوبوتیریک اسید (گابا) بر شدت تنفس، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و کیفیت میوه عروسک پشت پرده در طول دوره انبارمانی بیست و یک روزه انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار مشتمل بر ۲۵ عدد میوه طراحی شد. فاکتورهای آزمایشی شامل غلظت گابا (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار)، زمان انبارمانی (۷، ۱۴ و ۲۱ روز) و مرحله بلوغ میوه براساس رنگ آن در زمان برداشت (رنگ سبز مایل به زرد و رنگ نارنجی) بود. نتایج ارزیابی میوه‌ها به‌صورت هفتگی نشان داد که هر دو گروه میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد روند افزایشی تنفس کندتر و شدت تنفس نهایی کم‌تری داشتند و در مورد هر کدام از مرحله‌های بلوغ میوه، اثر غلظت‌های مختلف گابا بر شدت تنفس نهایی میوه‌ها مشابه بود. روند تغییرات میزان مواد جامد محلول کل و اسید کل میوه‌های تیمار شده با گابا نسبت به شاهد در طول دوره انبارمانی کندتر بود. در پایان دوره انبارمانی، میزان مواد جامد محلول کل آب میوه در میوه‌های سبز مایل به زرد تیمار شده با ۱۵ میلی‌مولار گابا کمینه و بدون تفاوت آماری با میوه‌های تیمار شده با ۱۰ میلی‌مولار گابا بود. میزان اثرگذاری غلظت‌های گابا بر حفظ اسید کل میوه‌های سبز مایل به زرد مشابه بود، اما در مورد میوه‌های نارنجی رنگ تیمار ۱۵ میلی‌مولار گابا کارآیی بهتری داشت. میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های سبزرنگ تیمار شده با غلظت‌های گابا به‌صورت پیوسته و معنی‌دار افزایش یافت و پس از ۲۱ روز انبارمانی تفاوتی بین اثر غلظت‌های مختلف گابا مشاهده نشد. اما میوه‌های نارنجی رنگ تا هفته دوم انبارمانی روند افزایشی معنی‌دار و در طی هفته آخر کاهشی غیر معنی‌دار در میزان این شاخص را نشان دادند. در مورد میوه‌های هر دو گروه، همواره بیش‌ترین سطح فعالیت آنزیمی متعلق به میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱۵ میلی‌مولار گابا بود. همچنین کمینه مقدار فنول کل، کاروتنوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول مدت انبارمانی مربوط به میوه‌های شاهد بود و هر دو گروه میوه‌ها در پاسخ به افزایش غلظت گابا به‌صورت معنی‌داری مقدار فنول کل، کاروتنوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری داشتند. در نهایت ضمن تأیید کارآیی تیمار پس از برداشت گابا بر حفظ و یا بهبود شاخص‌های کیفی و ارزش غذایی میوه عروسک پشت پرده، کاربرد آن توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شدت تنفس، عروسک پشت پرده، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گابا

---

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه علوم باغبانی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mehdi.hosseinifarahi@iau.ac.ir)
۳- گروه پژوهشی امنیت غذایی و کشاورزی پایدار، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۴- دپارتمان زیست فناوری، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ۷۵۱۶۹_ ایران
۵- دانشیار گروه علوم صنایع غذایی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران
۶- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، صندوق پستی: ۷۴۱۳۵-۱۱۱، جهرم، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.80053.1215

مقدمه

عروسک پشت پرده گیاهی چندساله از خانواده بادنجانیان (Solanaceae) و جنس *Physalis* است. میوه آن دارای قطر تقریبی ۱/۲۵ -۲/۵۰ سانتی‌متر، وزن ۴ -۱۰ گرم، پوست زرد نارنجی و گوشت آبدار حاوی تعداد زیادی دانه‌های کوچک است. گیاه عروسک پشت پرده، بومی مناطق آمریکای جنوبی است و نخستین بار در کشور مکزیک شناسایی شد و از آنجا به سرتاسر اروپا گسترش پیدا کرد (Olivares-Tenorio *et al*., 2017). میوه عروسک پشت پرده در زمره میوه‌های فرازگرا و به‌شدت فسادپذیر است (Balaguera *et al*., 2016). با توجه به اینکه فرآیند رسیدن میوه‌های فرازگرا پس از برداشت محصول نیز ادامه دارد این امکان وجود دارد که به علت رسیدن بیش از حد، میوه‌ها مستعد آسیب‌های فیزیولوژیکی و مشمول کاهش چشمگیر کیفیت شوند. مناسب‌ترین زمان برداشت میوه‌ها، مرحله بلوغ است که میوه دارای عطر و طعم مناسب ولی هنوز سفت است (Balaguera *et al*., 2016). برداشت میوه‌های نابالغ احتمال وقوع آسیب فیزیکی، از دست دادن رطوبت و ایجاد عطر و طعم ضعیف پس از رسیدن را افزایش می‌دهد. در مقابل، میوه‌هایی که در زمان برداشت بیش از حد رسیده‌اند، دارای بافتی نرم و آردی هستند و طی دوره پس از برداشت به سرعت مزه خود را از دست می‌دهند (Kader, 2002). لازم به ذکر است عوامل نامبرده باعث کاهش کیفیت و کمیت محصول و تأثیرگذاری نامطلوب بر پایداری سیستم های تولید کشاورزی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌شوند (Guevara Collazos *et al*., 2019). میوه عروسک پشت پرده به-دلیل فرآیند بلوغ سریع همراه با نرخ تنفس بالا، میزان درون‌زاد و حساسیت زیاد به اتیلن، و نیز محتوای آب بالا عمر انبارمانی کوتاهی دارد. این محصول در مرحله بلوغ فیزیولوژیکی و به‌صورت بالغ سبز رنگ و یا به‌صورت رسیده و نارنجی رنگ برداشت می‌شود. همواره میوه‌های برداشت شده در معرض تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرند که خود سبب تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نامطلوب و به‌دنبال آن کاهش کیفیت، از دست دادن آب و عناصر غذایی و پوسیدگی میوه می‌شوند. نظر به این که حفظ کیفیت میوه مهم‌ترین چالش در فرآیند پس از برداشت آن به‌شمار می‌رود، همواره کارآیی تیمارهای گوناگون پس از برداشت به‌منظور تأمین این مهم مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Sheng *et al*., 2017). تا به امروز، تیمارهای پس از برداشت متعدد مانند کاربرد ۱-متیل سیکلوپروپن (1-MCP) (Valdenegro *et al*., 2012)، پوشش خوراکی پکتین (Cárdenas-Barboza *et al*., 2021)، پوشش کیتوزان (Heydarnazhad *et al*., 2019)، پوشش ترکیبی کیتوزان و اسانس روغنی سداب (*Ruta graveolens* L.) (González-Locarno *et al*., 2020) و پوشش ژلاتین و کلرید کلسیم (Licodiedoff *et al*., 2016) برای بهبود عمر انبارمانی و حفظ کیفیت میوه عروسک پشت پرده استفاده شده است. بااین‌وجود، برخی از این روش‌ها به‌دلیل ترجیح کم مشتری یا نیاز به تأیید اثربخشی، از نظر تجاری منطقی نیستند. بر این اساس، باید راهکارهای مناسب جایگزین به‌منظور تعویق پیری و کاهش میزان تلفات پس از برداشت، و حفظ کیفیت میوه عروسک پشت پرده شناسایی و معرفی شود. هم‌اکنون، استفاده از فناوری‌ها و تیمارهای سازگار با محیط‌زیست قابل توصیه است (Aghdam *et al*., 2019). به‌عنوان مثال، گاما آمینوبوتیریک اسید (γ-Aminobutyric acid) که به اختصار گابا (GABA) نامیده می‌شود یک آمینواسید غیر پروتئینی چهارکربنی با یک گروه آمینه روی کربن γ است و به‌طور گسترده‌ای در باکتری‌ها، گیاهان و حیوانات یافت می‌شود و کاربرد و ارزیابی اثربخشی تیمار با آن به عنوان مولکولی با تحریک پیام‌رسانی ایمن پیشنهاد شده است (Aghdam *et al*., 2019). در پژوهشی تیمار پیش از برداشت گابا به‌صورت کابرد برگی سبب بهبود ویژگی‌های کیفی از جمله حفظ مقادیر ویتامین ث و اسیدکل، افزایش رنگیزه لیکوپن و کاهش خسارت سرمازدگی میوه گوجه‌فرنگی نسبت به تیمار شاهد شد (Zarei et *al*., 2020). همچنین، تیمارهای پس از برداشت گابا و اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری باعث حفظ میزان فنل کل، فلاونوئید کل و افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در میوه آلو "شابلون" گردید (Hemmatjo *et al*., 2019). تیمار گابا، خسارت سرمازدگی میوه‌های موز انبار شده را کاهش داد و سبب بهبود کیفیت میوه شد (Wang *et al*., 2014). چنین گزارش شده است که تیمار هلو به‌مدت ده دقیقه با غلظت ۵ میلی‌مولار گابا، آسیب سرمازدگی را کاهش داد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون پراکسیداز را افزایش داد (Yang *et al*., 2011).

با توجه به خلأ پژوهشی موجود، مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات تیمار پس از برداشت گابا بر شدت تنفس، فعالیت‌های آنتی اکسیدانی و کیفیت میوه عروسک پشت پرده در طول دوره انبارمانی بیست و یک روزه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

میوه‌های عروسک پشت پرده از یک گلخانه تجاری واقع در استان فارس در دو مرحله از بلوغ بر اساس رنگ ظاهری (مرحله سبز مایل به زرد و مرحله نارنجی رنگ) دست‌چین شدند. بی‌درنگ پس از برداشت میوه‌ها انتقال آن‌ها به آزمایشگاه باغبانی انجام شد و سپس انتخاب میوه‌های مطلوب با ارزیابی ظاهری و از جنبه اندازه، رنگ و فقدان هر نوع آسیب و آلودگی انجام شد. صفات کیفی و شدت تنفس

میوه‌ها بی‌درنگ پس از برداشت و قبل از شروع دوره انبارمانی ارزیابی شد. به‌منظور انجام تیمارها، میوه‌ها در غلظت‌های مختلف گاما آمینوبوتریک اسید (صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ میلی‌مولار) به‌مدت ۵ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از رطوبت‌گیری در دمای اتاق، میوه‌ها در ظروف پلاستیکی دربدار به ابعاد ۱۰×۵×۲۰ سانتی‌متر مکعب با نسبت سوراخ ۳ درصد بسته‌بندی و در شرایط دمای ۱۵ درجه سلسیوس به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند. به‌منظور بررسی ویژگی‌های کیفی و شدت تنفس، میوه‌ها به‌صورت هفتگی از انبار خارج و پس از انتقال به محل آزمایشگاه با دمای اتاق فرآیند ارزیابی صفات براساس روش های تبیین شده (در ادامه) انجام شد.

صفات مورد ارزیابی

مواد جامد محلول کل

برای اندازه‌گیری میزان مواد جامد محلول کل میوه از دستگاه قندسنج دیجیتالی مدل ATAGO-B933475 ساخت کشور ژاپن استفاده شد (Taghipour & Assar, 2021).

اسید کل

اسید کل به روش تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال اندازه‌گیری شد (Taghipour *et al.*, 2015).

اسید آسکوربیک

اسید آسکوربیک آب میوه با استفاده از روش تیتراسیون با ۲ و ۶- دی کلروفنول ایندوفنول اندازه‌گیری و به‌صورت میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه گزارش شد (Taghipour & Assar, 2021).

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز

به‌طور خلاصه، ۱ میلی‌لیتر بافر فسفات‌پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۰/۵ میلی‌لیتر فنیل‌آلانین ۱۰ میلی‌مولار، ۰/۴ میلی‌لیتر آب مقطر، و ۰/۱ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی به‌مدت ۱ ساعت مخلوط شد. در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و پس از افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۶ مولار، واکنش به پایان رسید و جذب نهایی در طول موج ۲۹۰ نانومتر ثبت شد. فعالیت آنزیم به‌عنوان واحد در هر گرم وزن تر بیان شد (Cheng & Breen, 1991).

شدت تنفس

برای اندازه‌گیری شدت تنفس میوه از روش شرح داده شده توسط پارسا و همکاران (Parsa *et al.*, 2020) با کمی تغییرات استفاده شد. مقدار دی‌اکسیدکربن تولید شده طی تنفس میوه با استفاده از سنسور دستگاه اندازه‌گیری کیفیت هوا (Air quality meter) اندازه‌گیری شد. مقدار مشخصی از میوه عروسک پشت پرده در محفظه‌ای از جنس شیشه به ابعاد (۱۰ سانتی‌متر × ۲۰ سانتی‌متر × ۲۰ سانتی‌متر) به‌مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت. نتایج تنفس به صورت میلی‌گرم دی اکسیدکربن در هر کیلوگرم میوه تازه در یک ساعت گزارش گردید.

فنول کل

برای سنجش فنول، با افزودن ۵ میلی‌لیتر آب مقطر عمل رقیق سازی عصاره انجام و مقدار ۲ میلی‌لیتر از آن درون لوله آزمایش ریخته شد. سپس ۱ میلی‌لیتر آب مقطر به آن افزوده شد و حجم آن به ۳ میلی‌لیتر رسید. پس از افزودن ۰/۵ میلی‌لیتر فولین سیوکالتیو و قرارگیری به مدت ۳ دقیقه در دمای اتاق، یک میلی‌لیتر کربنات سدیم ۲۰ درصد به مخلوط اضافه شد و پس از گذشت یک ساعت میزان جذب رنگ آبی در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Perkin–Elmer Lambda 25 UV/Vis اندازه‌گیری گردید (Kang & Saltveit, 2002).

کاروتنوئید

در ابتدا ۱ گرم از بافت میوه در حلال استخراج شامل حجم مساوی از استون و اتر نفتی هموژن گردید. پس از افزودن ۱۰ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد، عمل سانتریفیوز در دمای ۴ درجه سلسیوس و در دور ۱۰۰۰۰ به‌مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. سپس محلول روئی برداشت شد و با حلال استخراج اولیه به نسبت ۱:۳ رقیق و جذب آن در طول موج ۴۵۰ نانومتر قرائت و با استفاده از منحنی استاندارد مقدار کاروتنوئید ارزیابی و محاسبه شد (Raznjoo, 1997).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، از طریق روش DPPH (۲،۲- دی‌فنیل-۱-پیکریل‌هیدرازیل) با کمی تغییرات اندازه گیری شد (Brand-Williams *et al.*, 1995). میزان کاهش جذب مخلوط مورد آزمایش (در طول موج ۵۱۷ نانومتر) در طول ۳۰ دقیقه و در فواصل زمانی یک دقیقه‌ای با استفاده از اسپکتروفوتومتر مدل Perkin–Elmer Lambda 25 UV/Vis مانیتور شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها بصورت درصد بازدارندگی DPPH بر طبق فرمول زیر محاسبه گردید:

$$IC\ (\%) = ((A_0 - A_1)/A_0)) \times 100$$

IC = درصد بازدارندگی DPPH، A_0 = میزان جذب بلانک، A_1 = میزان جذب نمونه.

واکاوی داده‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و هر تکرار مشتمل بر ۲۵ عدد میوه انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد گاما آمینوبوتریک اسید (در چهار سطح صفر،

۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار)، زمان انبارمانی (در سه سطح ۷، ۱۴ و ۲۱ روز) و مرحله بلوغ میوه براساس رنگ در زمان برداشت (در دو سطح رنگ سبز مایل به زرد و رنگ نارنجی) بود. آنالیز واریانس و واکاوی داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و توسط نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

نتایج

مواد جامد محلول کل

ارزیابی میوه‌ها در زمان برداشت (جدول ۱) و نیز بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه، غلظت‌های گابا و مدت زمان انبارمانی (جدول ۲) نشان داد که به‌طور کلی میوه‌های برداشت شده به رنگ نارنجی نسبت به سبز مایل به زرد میزان مواد جامد محلول کل آب میوه بیش‌تری داشتند و با پیشرفت زمان انبارمانی بر میزان مواد جامد محلول کل آب میوه هر دو گروه افزوده شد. در نهایت پس از ۲۱ روز انبارمانی میزان این شاخص به‌ترتیب در میوه‌های شاهد نارنجی و سبز مایل به زرد در بیش‌ترین مقادیر (۲۱/۴۵ و ۱۹/۶۷ درصد) نسبت به میوه‌های هم‌رنگ تیمار شده بود. از سوی دیگر، در طول مدت انبارمانی سطح این شاخص در تمامی زمان‌ها و سطوح تیمار گابا در میوه‌های به رنگ نارنجی نسبت به سبز مایل به زرد بیش‌تر بود. نتایج ارزیابی در پایان انبارمانی نشان داد که میزان این شاخص در میوه‌های سبز مایل به زرد تیمار شده با ۱۵ میلی‌مولار گابا کمینه و بدون تفاوت آماری با میوه‌های تیمار شده با ۱۰ میلی مولار گابا نسبت به شاهد به‌صورت معنی‌دار کم‌تر بود. اما در مورد میوه‌های نارنجی کمینه میزان مواد جامد محلول کل از تیمار ۱۵ میلی‌مولار حاصل شد.

جدول ۱- خصوصیات کیفی و شدت تنفس میوه عروسک پشت پرده در زمان برداشت

Table 1- Qualitative characteristics and respiration rate of Peruvian groundcherry fruit at harvest time

مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت Fruit maturity stage at harvest time	مواد جامد محلول کل Total soluble solids (%)	اسید کل Total acid (%)	اسید آسکوربیک Ascorbic acid (mg 100 g^{-1})	فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز Phenylalanine ammonia-lyase activity (U g^{-1} fw)	شدت تنفس Respiration rate (mg CO_2 kg^{1} h^{-1})	فنول کل Total phenolic (mg g^{-1} fw)	کاروتنوئید Carotenoid (µg g^{-1} fw)	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity (%)
سبز مایل به زرد Yellowish Green	17.66	2.4	50.36	12.10	39.60	8.14	6.06	28.86
نارنجی Orange	19.10	2.02	55.68	21.55	44.20	11.30	9.15	46.56

اسید کل

ارزیابی مقادیر روز برداشت (جدول ۱) و نیز بررسی برهمکنش فاکتورهای آزمایشی (جدول ۲) نشان داد که میزان اسید کل آب میوه‌های برداشت شده در مراحل مختلف بلوغ در طول هفته اول انبارمانی با افزایش همراه بود که مقدار این افزایش با تیمار گابا و افزایش غلظت تیمار بیش‌تر بود. پس از آن و در طول زمان انبارمانی مقدار این شاخص به‌صورت چشمگیر کاهش یافت و نرخ این کاهش در مورد میوه های تیمار شده نسبت به شاهد و میوه‌های سبزرنگ نسبت به نارنجی کندتر بود. در مورد میوه‌های سبزرنگ میزان اثربخشی تیمارهای ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار گابا، و نیز ۵ و ۱۰ میلی‌مولار گابا بر حفظ مقدار این شاخص در طول دوره انبارمانی مشابه بود. از سوی دیگر، تنها در روزهای هفتم و چهاردهم انبارمانی اثر بخشی بهتری از کاربرد تیمار ۱۵ میلی‌مولار نسبت به ۵ میلی‌مولار مشهود بود و در پایان دوره ۲۱ روزه انبارمانی تفاوت معنی‌داری بین اثر تیمارهای نامبرده وجود نداشت. در پایان دوره انبارمانی، میزان اسید کل آب میوه‌های نارنجی رنگ تیمار شده با بالاترین غلظت گابا با مقدار مربوط به میوه‌های شاهد سبزرنگ از نظر آماری مشابه بود.

اسید آسکوربیک

به‌طور کلی، نتایج بررسی مقادیر زمان برداشت (جدول ۱) و نیز برهمکنش فاکتورهای آزمایشی (جدول ۳) دال بر افزایش قابل توجه مقدار اسید آسکوربیک در میوه‌های عروسک پشت پرده در طی دوره انبارمانی بود. از سوی دیگر، همواره مقدار این شاخص در میوه‌های تیمار شده با گابا نسبت به میوه‌های شاهد بیش‌تر بود. تفاوت آماری بین میوه‌های سبزرنگ شاهد و تیمار ۵ میلی‌مولار گابا تنها در انتهای دوره انبارمانی مشاهده شد. اما تفاوت شاخص نامبرده در میوه‌های سبزرنگ شاهد و تیمار غلظت‌های بیش‌تر گابا از روز هفتم انبارمانی مشهود و تا انتهای مدت نگهداری میوه‌ها برقرار بود. در مورد میوه های نارنجی رنگ تفاوت موجود بین میوه‌های شاهد و غلظت‌های مختلف گابا در تمام زمان‌های ارزیابی معنی‌دار بود. نتایج ارزیابی‌ها

پس از دو و سه هفته انبارمانی نشان داد که در هر زمان، تفاوت آماری بین غلظت‌های مختلف گابا بر میزان اسید آسکوربیک میوه‌های نارنجی رنگ وجود نداشت. همچنین، روند افزایشی میزان اسید آسکوربیک میوه‌های نارنجی تا هفته دوم انبارمانی مشاهده شد و پس از آن کاهشی غیرمعنی‌دار در میزان این شاخص در مورد میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های مختلف گابا ثبت شد. اما در مورد میوه‌های سبزرنگ تیمارشده با دو غلظت بالاتر گابا میزان این شاخص پس از دو هفته انبارمانی مشابه با هم و به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر از مقدار مربوط به میوه‌های تیمار شده با کم‌ترین غلظت گابا بود. روند افزایش معنی‌دار این شاخص در میوه‌های سبزرنگ تیمار شده با غلظت‌های گابا تا انتهای دوره انبارمانی برقرار بود و در انتهای دوره تفاوتی بین غلظت‌های مختلف گابا وجود نداشت. از نظر آماری، در پایان هفته دوم انبارمانی مقدار اسید آسکوربیک میوه‌های نارنجی تیمار شده با ۱۰ و یا ۱۵ میلی‌مولار گابا نسبت به میوه‌های سبز رنگ با تیمار مشابه بیش‌تر بود. اما برخلاف مشاهده مربوط به هفته دوم، در پایان هفته سوم انبارمانی میوه‌های سبزرنگ نسبت به میوه‌های نارنجی رنگ با تیمار مشابه گابا مقدار اسید آسکوربیک بیش‌تری داشتند.

جدول ۲- برهمکنش غلظت گابا× مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت، و مدت زمان انبارمانی بر مواد جامد محلول کل و اسید کل میوه عروسک پشت پرده

Table 2- The interaction effect of GABA concentration× fruit maturity stage at harvest time, and storage period on total soluble solids and total acids of Peruvian groundcherry fruit

غلظت گابا GABA concentration (mM)	مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت Fruit maturity stage at harvest time	مدت زمان انبارمانی Storage period (day)	مواد جامد محلول کل Total Soluble Solids (%)	اسید کل Total acid (%)
0	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	18.45±0.05^{k-m}	2.56±0.06^{fg}
		14	18.57±0.06^{jk}	2.48±0.03^{hi}
		21	19.67±0.15^{h}	2.36±0.05^{j}
	نارنجی Orange	7	20.13±0.15^{fg}	2.47±0.01^{hi}
		14	21.17±0.15^{b}	2.16±0.01^{m}
		21	21.45±0.05^{a}	2.03±0.04^{n}
5	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	18.27±0.06^{no}	2.75±0.06^{bc}
		14	18.37±0.06^{l-o}	2.69±0.04^{cd}
		21	18.70±0.10^{j}	2.60±0.01^{ef}
	نارنجی Orange	7	19.50±0.10^{hi}	2.56±0.03^{fg}
		14	20.33±0.06^{de}	2.45±0.05^{i}
		21	20.63±0.06^{c}	2.29±0.04^{kl}
10	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	18.20±0.10^{o}	2.81±0.03^{ab}
		14	18.33±0.06^{m-o}	2.76±0.04^{bc}
		21	18.53±0.12^{j-l}	2.63±0.03^{d-f}
	نارنجی Orange	7	19.43±0.06^{i}	2.66±0.11^{de}
		14	20.20±0.10^{ef}	2.47±0.02^{hi}
		21	20.48±0.13^{cd}	2.23±0.05^{lm}
15	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	17.95±0.23^{p}	2.86±0.02^{a}
		14	18.20±0.10^{o}	2.78±0.06^{b}
		21	18.40±0.10^{k-n}	2.62±0.01^{ef}
	نارنجی Orange	7	19.40±0.10^{i}	2.61±0.02^{ef}
		14	20.00 ±0.10^{g}	2.53±0.03^{gh}
		21	20.30±0.10^{ef}	2.35±0.02^{jk}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% level of probability using LSD test.

فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز

نتایج ارزیابی در زمان برداشت (جدول ۱) و نیز بررسی برهمکنش فاکتورهای آزمایشی (جدول ۳) نشان داد که همواره مقدار این شاخص در میوه‌های تیمار شده با گابا نسبت به میوه‌های شاهد به صورت معنی‌دار بیش‌تر بود. پس از یک هفته انبارمانی سطح فعالیت آنزیمی میوه‌های سبز مایل به زرد تیمار شده با غلظت‌های گابا نسبت به زمان برداشت بیش‌تر بود و علی‌رغم مشاهده روند کاهشی با زمان انبارمانی در میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های کمتر گابا، همواره مقدار

آن در سطح بیش‌تری نسبت به روز برداشت حفظ شد. البته روند تغییر این شاخص با زمان در مورد میوه‌های سبز مایل به زرد تیمار شده با غلظت ۱۵ میلی‌مولار گابا به‌صورت افزایشی بود. در مورد میوه‌های نارنجی رنگ پس از یک هفته انبارمانی سطح فعالیت آنزیمی میوه های تیمار شده با غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار گابا نسبت به زمان برداشت بیش‌تر بود و علی‌رغم مشاهده روند کاهشی با زمان، همواره مقدار این شاخص در سطح بیش‌تری نسبت به روز برداشت حفظ شد. از نظر آماری، در مورد میوه‌های نارنجی رنگ، افزایش غلظت گابا با فعالیت آنزیمی بیش‌تر در هر زمان ارزیابی همراه بود به‌طوری‌که بیش‌ترین سطح فعالیت آنزیمی در هر زمان متعلق به میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱۵ میلی‌مولار گابا بود. سطح فعالیت آنزیمی میوه‌های سبز مایل به زرد تیمار شده با غلظت‌های ۵ و ۱۰ میلی‌مولار گابا در طول زمان انبارمانی بدون تغییر و مشابه بود. افزایش غلظت گابا به ۱۵ میلی‌مولار با فعالیت آنزیمی بیش‌تر در میوه‌های سبز مایل به زرد در تمام زمان‌های ارزیابی همراه بود، اما تفاوت معنی‌دار اثر غلظت‌های بالاتر گابا از روز چهاردهم انبارمانی پدیدار شد.

جدول ۳- برهمکنش غلظت گابا× مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت، و مدت زمان انبارمانی بر میزان اسید آسکوربیک و فعالیت آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز میوه عروسک پشت پرده

Table 3- The interaction effect of GABA concentration× fruit maturity stage at harvest time, and storage period on ascorbic acid content, and phenylalanine ammonia-lyase enzyme activity of Peruvian groundcherry fruit

غلظت گابا GABA concentration (mM)	مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت Fruit maturity stage at harvest time	مدت زمان انبارمانی Storage period (day)	اسید آسکوربیک Ascorbic acid ($mg.100g^{-1}$)	فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز Phenylalanine ammonia-lyase activity ($U.g\ fw^{-1}$)
0	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	$0.16^{m}\pm51.39$	$0.17^{no}\pm11.52$
		14	$2.40^{g}\pm123.03$	$0.24^{o}\pm11.06$
		21	$3.75^{g}\pm123.98$	$0.15^{o}\pm10.74$
	نارنجی Orange	7	$0.50^{kl}\pm59.50$	$0.44^{g}\pm19.14$
		14	$3.46^{h}\pm115.37$	$0.51^{h}\pm16.32$
		21	$3.45^{h}\pm113.28$	$0.46^{ij}\pm14.44$
5	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	$0.16^{lm}\pm56.27$	$0.03^{lm}\pm12.76$
		14	$2.90^{g}\pm125.86$	$0.08^{lm}\pm12.51$
		21	$7.87^{ab}\pm157.33$	$0.05^{mn}\pm12.22$
	نارنجی Orange	7	$1.16^{j}\pm68.44$	$0.27^{f}\pm20.17$
		14	$3.35^{a-c}\pm155.05$	$0.17^{fg}\pm19.66$
		21	$5.84^{b-d}\pm152.34$	$0.25^{g}\pm18.90$
10	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	$0.07^{j-l}\pm63.22$	$0.07^{kl}\pm13.30$
		14	$1.16^{ef}\pm140.36$	$0.11^{k-m}\pm12.95$
		21	$0.58^{a}\pm161.54$	$0.08^{lm}\pm12.68$
	نارنجی Orange	7	$7.46^{ij}\pm70.37$	$0.40^{cd}\pm22.11$
		14	$6.38^{b-d}\pm152.54$	$0.43^{de}\pm21.54$
		21	$4.00^{cd}\pm148.48$	$0.42^{e}\pm21.10$
15	سبز مایل به زرد Yellowish Green	7	$0.07^{jk}\pm64.96$	$0.11^{jk}\pm13.75$
		14	$1.74^{f}\pm138.62$	$0.11^{ij}\pm14.14$
		21	$5.80^{ab}\pm159.07$	$0.07^{i}\pm14.66$
	نارنجی Orange	7	$10.11^{i}\pm76.56$	$0.38^{a}\pm23.50$
		14	$6.38^{b-d}\pm152.54$	$0.39^{ab}\pm22.96$
		21	$1.02^{de}\pm147.33$	$0.40^{bc}\pm22.49$

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% of probability level using LSD test.

شدت تنفس

نتایج جدول‌های ۱ و ۴ نشان می‌دهد که به‌طور کلی انبارمانی میوه‌ها با افزایش شدت تنفس آن‌ها همراه بود. بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه، غلظت‌های مختلف گابا و مدت زمان انبارمانی (جدول ۴) نشان داد که شدت تنفس میوه‌های سبز رنگ شاهد تا روز چهاردهم انبارمانی به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت و پس از آن ثابت ماند. اما در مورد میوه‌های سبزرنگ تیمار شده با غلظت‌های گابا روند ثابت افزایشی شدت تنفس تا پایان انبارمانی مشاهده شد در حالی‌که شتاب این روند کندتر بود. در مورد میوه‌های نارنجی رنگ شاهد و نیز

تیمار شده با غلظت‌های گابا در ابتدا روندی افزایشی و سپس کاهشی در میزان شدت تنفس مشاهده شد. از نظر آماری در هر سه زمان ارزیابی میزان این شاخص در میوه‌های شاهد نارنجی رنگ بیش‌تر از میوه‌های شاهد سبز رنگ بود. میوه‌های سبز و یا نارنجی رنگ تیمار شده با غلظت‌های گابا نسبت به شاهد روند افزایشی کندتر و شدت تنفس نهایی کم‌تری داشتند. روند افزایشی شدت تنفس در میوه‌های تیمار شده نارنجی رنگ نسبت به سبزرنگ تندتر بود و در هر دو زمان هفتمین و چهاردهمین روز انبارمانی و در مورد میوه‌هایی با تیمار مشابه گابا مشاهده شد که میوه‌های نارنجی رنگ نسبت به سبز شدت تنفس بیش‌تری داشتند. پس از هفت روز و در مورد هر دو مرحله بلوغ میوه به‌صورت مشابه کم‌ترین شدت تنفس مربوط به تیمارهای ۱۰ و ۱۵ میلی‌مولار گابا بدون تفاوت آماری بین غلظت‌های نامبرده بود. در هر دو زمان چهاردهمین و بیست و یکمین روز از دوره انبارمانی تفاوت آماری بین شدت تنفس میوه‌های سبز تیمار شده با غلظت‌های مختلف گابا وجود نداشت. اما در چهاردهمین روز انبارمانی، میوه‌های نارنجی رنگ تیمار شده با بالاترین غلظت‌های گابا و در بیست و یکمین روز، میوه‌های نارنجی تیمار شده با هر سه غلظت گابا به صورت مشابه و معنی‌داری کم‌ترین شدت تنفس را نسبت به شاهد دارا بودند. نتایج نشان داد که به دنبال روند کاهشی شدت تنفس میوه‌های نارنجی در هفته آخر انبارمانی، در موارد تیمار مشابه از غلظت گابا شدت تنفس نهایی میوه های نارنجی به‌صورت معنی‌داری از میوه‌های سبز کم‌تر بود.

جدول ٤- برهمکنش غلظت گابا× مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت، و مدت زمان انبارمانی بر شدت تنفس میوه عروسک پشت پرده

Table 4- The interaction effect of GABA concentration× fruit maturity stage at harvest time, and storage period on respiration rate (mg $CO_2.kg^{-1}$ fw h^{-1}) of Peruvian groundcherry fruit

	۷ روز 7 days		۱٤ روز 14 days		۲۱ روز 21 days	
غلظت گابا GABA concentration (mM)	سبز مایل به زرد Yellowish Green	نارنجی Orange	سبز مایل به زرد Yellowish Green	نارنجی Orange	سبز مایل به زرد Yellowish Green	نارنجی Orange
0	$1.28^{fg}\pm49.93$	$1.24^{b}\pm74.41$	$2.52^{c}\pm70.44$	$1.66^{a}\pm95.35$	$1.34^{c}\pm70.62$	$2.62^{b}\pm75.42$
5	$1.79^{l}\pm39.45$	$1.19^{f-h}\pm48.91$	$1.05^{jk}\pm45.13$	$2.79^{cd}\pm68.52$	$1.63^{f}\pm50.33$	$2.84^{g-j}\pm47.05$
10	$1.23^{lm}\pm36.81$	$2.10^{i-k}\pm45.37$	$1.56^{i-k}\pm45.82$	$1.90^{de}\pm66.42$	$1.63^{f}\pm50.32$	$2.02^{f-i}\pm48.15$
15	$2.76^{m}\pm35.96$	$1.26^{jk}\pm44.51$	$1.29^{k}\pm43.98$	$1.26^{e}\pm64.88$	$1.45^{f-h}\pm49.32$	$1.21^{h-k}\pm46.71$

* میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند

* Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability level using LSD test

فنول کل

روند تغییرات میزان فنول کل تحت تأثیر برهمکنش مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت و غلظت‌های مختلف گابا نشان داد کم‌ترین میزان این شاخص در میوه‌های سبز مایل به زرد مربوط به میوه‌های شاهد و در مورد میوه‌های نارنجی علاوه بر شاهد متعلق به میوه‌های تیمار شده با غلظت کم‌تر گابا بود. در غلظت‌های مشابه گابا سطح فنول کل میوه‌های سبز مایل به زرد نسبت به نارنجی به‌صورت معنی‌دار کم‌تر بود. با افزایش غلظت گابا سطح فنول کل میوه‌های هر دو گروه بیش‌تر بود. از سوی دیگر، میزان تغییر در محتوای فنول در پاسخ به افزایش غلظت گابا در میوه‌های سبز مایل به زرد نسبت به نارنجی کم‌تر بود. (جدول ۵).

نتایج بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه‌ها در زمان برداشت و مدت زمان انبارمانی نشان داد که در هر زمان، میوه‌های نارنجی رنگ به‌صورت معنی‌دار محتوای فنول کل بیش‌تری نسبت به میوه‌های سبز مایل به زرد داشتند. همچنین، با افزایش زمان انبارمانی روند تغییرات این شاخص در میوه‌های سبز مایل به زرد به‌صورت کاهش تدریجی اما در مورد میوه‌های نارنجی به‌صورت افزایش معنی‌دار بود بود (شکل ۱-A).

کاروتنوئید

روند تغییرات میزان کاروتنوئید تحت تأثیر برهمکنش مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت و غلظت‌های مختلف گابا نشان داد در مورد هر دو گروه میوه‌های نارنجی و سبز مایل به زرد کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های شاهد بود و با افزایش غلظت گابا سطح کاروتنوئید میوه‌های هر دو گروه بیش‌تر بود. از سوی دیگر، در غلظت‌های مشابه گابا سطح کاروتنوئید میوه‌های نارنجی نسبت به سبز مایل به زرد به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر بود (جدول ۵).

نتایج بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه‌ها در زمان برداشت و مدت زمان انبارمانی نشان داد که در هر زمان، میوه‌های نارنجی رنگ به‌صورت معنی‌دار کاروتنوئید بیش‌تری نسبت به میوه‌های سبز مایل به زرد داشتند. همچنین، با افزایش زمان انبارمانی روند تغییرات این شاخص در میوه‌های نارنجی به‌صورت افزایش معنی‌دار بود اما در مورد میوه‌های سبز مایل به زرد به‌صورت کاهش تدریجی مشاهده شد (شکل ۱-B).

جدول ۵- برهمکنش غلظت گابا × مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت بر میزان فنول کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کارتنوئید در میوه عروسک پشت پرده

Table 5- The interaction effect of GABA concentration ×fruit maturity stage at harvest time on total phenolic content, antioxidant activity and carotenoid in Peruvian groundcherry fruit

غلظت گابا GABA concentration (mM)	مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت Fruit maturity stage at harvest time	فنول کل Total phenolic ($mg.g^{-1}fw$)	کاروتنوئید Carotenoid ($\mu g.g^{-1}fw$)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity (%)
0	سبز مایل به زرد Yellowish Green	$0.09^{e}\pm8.02$	$0.07^{g}\pm5.70$	$0.39^{g}\pm30.91$
	نارنجی Orange	$0.24^{c}\pm12.82$	$0.24^{d}\pm10.18$	$1.77^{d}\pm34.66$
5	سبز مایل به زرد Yellowish Green	$0.05^{de}\pm8.41$	$0.08^{fg}\pm6.04$	$0.41^{f}\pm32.30$
	نارنجی Orange	$0.28^{c}\pm13.23$	$0.47^{c}\pm10.80$	$1.77^{c}\pm37.96$
10	سبز مایل به زرد Yellowish Green	$0.07^{d}\pm8.64$	$0.06^{ef}\pm6.19$	$0.46^{ef}\pm33.07$
	نارنجی Orange	$0.36^{b}\pm13.93$	$0.52^{b}\pm11.32$	$1.72^{b}\pm40.57$
15	سبز مایل به زرد Yellowish Green	$0.08^{d}\pm8.83$	$0.06^{e}\pm6.49$	$0.45^{de}\pm33.86$
	نارنجی Orange	$0.30^{a}\pm14.67$	$0.53^{a}\pm12.05$	$1.85^{a}\pm42.76$

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means in each column with similar letters are not significantly different at 5% of probability level using LSD test.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

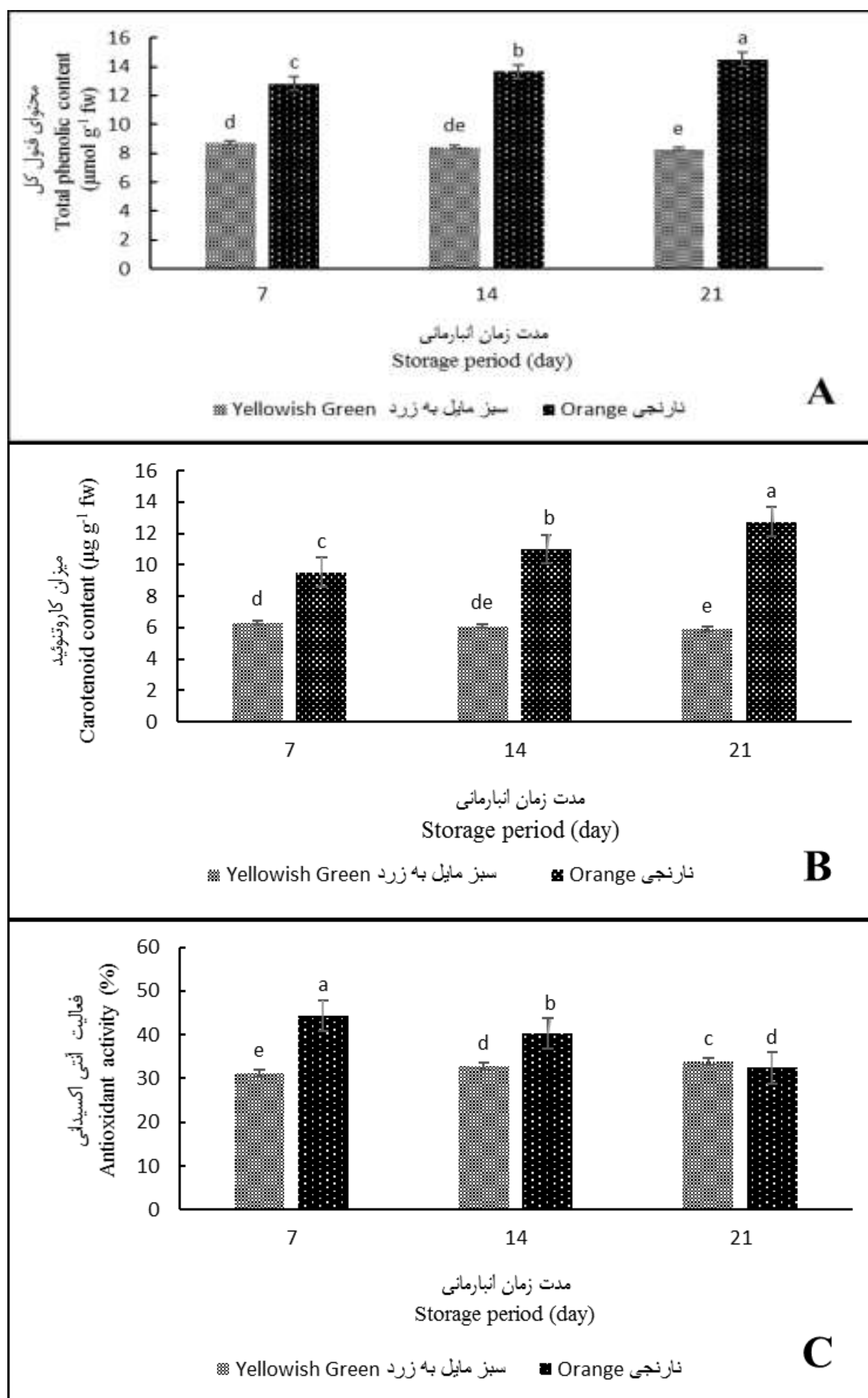
با بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت و غلظت‌های مختلف گابا بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه مشخص شد که میوه‌های نارنجی رنگ در پاسخ به افزایش غلظت گابا به‌صورت معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری داشتند. اما شدت پاسخ گویی میوه‌های سبز مایل به زرد کم‌تر بود. از نظر آماری، کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های شاهد از هر دو گروه مرحله بلوغ بود و در غلظت‌های مشابه گابا ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های سبز مایل به زرد نسبت به نارنجی کم‌تر بود (جدول ۵).

از سوی دیگر، برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه‌ها در زمان برداشت و مدت زمان انبارمانی نشان داد که در هر زمان، میوه‌های سبز مایل به زرد به‌صورت معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کم‌تری نسبت به میوه‌های نارنجی رنگ داشتند. همچنین، با افزایش زمان انبارمانی روند تغییرات این شاخص در میوه‌های سبز مایل به زرد و نارنجی به ترتیب به‌صورت افزایش و کاهش معنی‌دار بود (شکل ۱-C).

بحث

همان‌طور که در بخش نتایج ذکر شد از نظر آماری میوه‌های سبز مایل به زرد و یا نارنجی رنگ تیمار شده با غلظت‌های گابا نسبت به شاهد روند افزایشی کندتر و شدت تنفس نهایی کم‌تری در مدت انبارمانی داشتند و در مورد هر کدام از مرحله‌های بلوغ میوه، اثر غلظت‌های مختلف گابا بر شدت تنفس نهایی میوه‌های عروسک پشت پرده از نظر آماری مشابه بود. در طول دوره پس از برداشت میوه‌ها، تجزیه کربوهیدرات‌های موجود به دی‌اکسیدکربن و آب منعکس کننده فعالیت تنفسی آن‌ها است.

سازوکار تأثیرگذاری گابا بر شدت تنفس میوه‌ها در طول دوره انبارمانی هنوز به‌صورت دقیق مشخص نیست. با این حال، گزارش تجمع گابا در جهش‌یافته‌های آرابیدوپسیس که فاقد آنزیم‌های تنفسی بودند، نقش حیاتی و قطعی گابا را در کنترل تنفس اثبات نموده است. مکان‌های اصلی مسیر متابولیک گابا شامل سیتوزول و ماتریکس میتوکندری است که نشان‌دهنده وجود رابطه کلیدی بین گابا، و فرایندهایی مانند فتوسنتز و تنفس است (Mekontso *et al.*, 2021). نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های مکونتسو و همکاران (Mekontso *et al.*, 2021) که کاهش چشمگیر شدت تنفس میوه‌های کارامبولا را با تیمار غوطه‌وری در محلول‌های گابا مشاهده نمودند همخوانی داشت.



شکل ۱- برهمکنش مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت × مدت زمان انبارمانی بر محتوای فنول کل (A)، کاروتنوئید (B) و فعالیت آنتی اکسیدانی (C) میوه عروسک پشت پرده

Figure 1- The interaction effect of fruit maturity stage at harvest time ×storage period on total phenolic content (A), carotenoid content (B), and antioxidant activity (C) of Peruvian groundcherry fruit (LSD, *p≤0.05*)

آن‌ها گزارش نمودند که برهمکنش بین گابا و غلظت دی اکسیدکربن در دوره انبارمانی میوه می‌تواند فرآیندی کلیدی و تعیین-کننده شیوه اثرگذاری گابا بر کاهش شدت فعالیت تنفسی محصول باشد.

در پژوهش حاضر با افزایش زمان انبارمانی میزان مواد جامد محلول کل آب میوه‌های عروسک پشت پرده افزایش یافت. افزایش میزان مواد جامد محلول کل در طول انبارمانی محصول به‌دلیل تغییرات هیدرولیکی و تبدیل نشاسته به قندهای ساده، هضم دیواره های سلولی، و نیز آب ازدست‌دهی و تغلیظ شیره سلولی می‌باشد (Taghipour *et al*., 2015;Rastegar *et al*., 2020). یافته‌های پژوهش حاضر با پژوهش زارعی و همکاران (Zarei et *al*., 2020) همسو بود. آن‌ها گزارش کردند که میزان افزایش در میزان مواد جامد محلول کل میوه‌های گوجه‌فرنگی تیمار شده با گابا نسبت به شاهد در طول دوره انبارمانی کم‌تر بود. همچنین، سازوکار اثرگذاری گابا را کند نمودن فرآیند تنفس و کاهش میزان تبدیل نشاسته به قندهای ساده دانستند.

اسید کل آب میوه نشان‌دهنده غلظت اسیدهای آلی در میوه است و در زمره یکی از ویژگی‌های اصلی تعیین‌کننده کیفیت نهایی میوه به‌شمار می‌رود. در پژوهش حاضر، کاهش چشمگیر مقدار اسید کل آب میوه‌ها در طول زمان انبارمانی مشاهده شد و نرخ این کاهش در مورد میوه‌های تیمار شده با غلظت‌های گابا نسبت به شاهد و در میوه‌های سبز مایل به زرد نسبت به نارنجی کندتر بود. در پایان دوره انبارمانی بیست و یک روزه، میزان اثرگذاری غلظت‌های گابا بر حفظ اسید کل میوه‌های سبز مایل به زرد مشابه بود اما در مورد میوه‌های نارنجی رنگ کارآیی تیمار ۱۵ میلی‌مولار گابا به‌صورت معنی‌دار نسبت به غلظت‌های دیگر بیش‌تر بود. محتوای اسیدهای آلی میوه‌ها در طی دوره انبارمانی و نیز در زمان رسیدن و پیری محصول به دلیل تبدیل به قند و مصرف در فرآیند تنفس کاهش می‌یابد و از این‌رو ارتباط مستقیمی با فعالیت متابولیک محصول دارد (Nazoori *et al*., 2020). با گذشت زمان و قرارگیری محصول در شرایط تنش اکسایشی مرتبط با انبارمانی و نیز با نمو محصول به حالت رسیده و یا شروع فرایند پیری میزان تولید اتیلن درون‌زاد و شدت تنفس محصول افزایش می‌یابد و بنابراین با مصرف اسیدهای آلی به‌عنوان سوبسترای تنفسی از میزان آن‌ها کاسته می‌شود (Rolle *et al*., 2009; Habibi *et al*., 2019). نتایج این پژوهش با یافته‌های حبیبی و همکاران (Habibi *et al*., 2019) همخوانی داشت. آن‌ها تأثیر معنی‌دار کاربرد گابا بر حفظ بهتر میزان اسید کل آب میوه‌های پرتقال خونی تیمار شده نسبت به شاهد را گزارش نمودند.

یافته‌های پژوهش حاضر دال بر افزایش قابل توجه مقدار اسید آسکوربیک در میوه‌های عروسک پشت پرده در طی دوره انبارمانی بود. افزون بر آن، همواره مقدار این شاخص کیفی در میوه‌های تیمار شده با گابا نسبت به میوه‌های شاهد بیش‌تر بود. تا انتهای دوره انبارمانی میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های سبزرنگ تیمار شده با غلظت‌های گابا به‌صورت پیوسته و معنی‌دار افزوده شد و پس از ۲۱ روز انبارمانی تفاوتی بین اثر غلظت‌های مختلف گابا مشاهده نشد. اما میوه‌های نارنجی رنگ تا هفته دوم انبارمانی روند افزایشی معنی‌دار در میزان این شاخص را داشتند و در طی هفته آخر کاهشی غیر معنی‌دار در میزان این شاخص برای آن‌ها ثبت شد. اسید آسکوربیک به‌عنوان ویتامین در میوه و سبزی‌ها، آنتی‌اکسیدانی قابل حل در آب است. در طول دوره پس از برداشت و پیری میوه‌ها، اسید آسکوربیک به‌صورت مستقیم به‌عنوان یک مولکول جاروب کننده گونه‌های فعال اکسیژن، و نیز به‌عنوان دهنده الکترون به آنزیم آسکوربات پراکسیداز به‌منظور مهار کردن پراکسید هیدروژن توسط چرخه گلوتاتیون آسکوربات عمل می‌کند (Razavi *et al*., 2018). افزایش میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های عروسک پشت پرده تیمار شده با گابا می‌تواند به‌دلیل فعال سازی سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی و یا بازدارندگی از فعالیت آنزیم آسکوربیک‌اسیداکسیداز باشد (Aghdam *et al*., 2016). بنابراین، تیمار گابا می‌تواند به‌عنوان یک تیمار پس از برداشت توانمند در بهبود ارزش غذایی سلامت محور میوه عروسک پشت پرده از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محسوب شود. توقف روند افزایشی میزان اسید آسکوربیک میوه‌های نارنجی رنگ در هفته سوم انبارمانی می‌تواند به توسعه بیش‌تر مرحله نموی و پیری آن‌ها مربوط باشد.

بررسی روند تغییرات میزان فنول کل تحت تأثیر برهمکنش مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت با غلظت‌های مختلف گابا و یا مدت زمان انبارمانی نشان داد که کمینه مقدار این شاخص مربوط به میوه های شاهد بود. همچنین با تیمار گابا با غلظت‌های بالاتر سطح فنول کل میوه‌های تحت تیمار به‌ویژه میوه‌های نارنجی رنگ بیش‌تر بود. افزایش محتوای فنل کل در میوه‌های هلو و موز تیمار شده با گابا توسط یانگ و همکاران (Yang *et al*., 2011) و وانگ و همکاران (Wang *et al*., 2014) گزارش شده است. به‌نظر می‌رسد که گابا با تحریک فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز سبب افزایش تولید ترکیبات فنولی و در نهایت افزایش پتاسیل آنتی‌اکسیدانی بافت میوه در طول دوره انبارمانی و مراحل نموی می‌شود که از این نظر یافته های پژوهش حاضر مشابه با یافته‌های مربوط به شاه‌توت، توت‌فرنگی و تمشک می‌باشد (Houshani *et al*., 2015). همچنین گزارش شده است که ترکیبات فنولی با تغییر در رنگ، عطر و طعم میوه می‌تواند در کیفیت میوه و ارزش غذایی آن مؤثر باشد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر، روند تغییرات فنول کل میوه‌های سبز مایل به زرد به‌صورت کاهش تدریجی در طول دوره انبارمانی اما در مورد میوه‌های نارنجی به‌صورت افزایش معنی‌دار بود. کاهش محتوای فنول کل با فعالیت بیش‌تر آنزیم‌های پلی‌فنول‌اکسیداز، و پراکسیداز، و کاهش فعالیت فنیل آلانین آمونیالیاز مرتبط است که می‌تواند از تفاوت در مراحل

نموی میوه‌های سبز مایل به زرد و نارنجی رنگ منشا گیرد (Habibi et al., 2020;Nazoori et al., 2020).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که همواره مقدار فعالیت آنزیمی فنیل آلانین آمونیالیاز در میوه‌های تیمار شده با گابا نسبت به میوه های شاهد به‌صورت معنی‌دار بیش‌تر بود. علی‌رغم مشاهده روند تغییرات این شاخص با زمان هم به‌صورت افزایشی (در مورد میوه‌های سبز مایل به زرد تیمار شده با غلظت ۱۵ میلی‌مولار گابا) و هم کاهشی، همواره مقدار فعالیت آنزیمی میوه‌های تیمار شده در سطح بیش‌تری نسبت به روز برداشت حفظ شد. در مورد هر دو گروه میوه های سبز مایل به زرد و نارنجی رنگ، بیش‌ترین سطح فعالیت آنزیمی در هر زمان متعلق به میوه‌های تیمار شده با غلظت ۱۵ میلی‌مولار گابا بود. فنیل آلانین آمونیالیاز به‌عنوان اولین آنزیم در مسیر کلی متابولیسم فنیل پروپانوئید، به‌طور مستقیم در سنتز ترکیبات فعالی از جمله فنول‌ها، فیتوالکسین‌ها، فلاونوئیدها و لیگنین دخالت دارد (Yu et al., 2014). به‌نظر می رسد تیمار گابا با تحریک فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز به‌عنوان عامل کلیدی در مسیر سنتز متابولیت-های ثانویه سبب حفظ بهتر میزان فنول کل میوه‌های عروسک پشت پرده شده است. بنابراین نتایج حاضر تأیید می‌کند که گابا می‌تواند به عنوان یک مولکول بالقوه در جهت فعال‌سازی مسیر فلاونوئید– فنیل پروپانوئید، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی، و حفظ بهتر محتوای فنول کل میوه‌ها عمل نماید. فعالیت بیش‌تر آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز به-دنبال تیمار برون‌زای گابا در سایر میوه‌ها از جمله زغال اخته آبی رنگ (Gao et al., 2018)، برش‌های تازه میوه سیب (Ge et al., 2018)، موز (Wang et al., 2014)، پرتقال خونی (Habibi et al., 2019; Habibi et al., 2020)، گیلاس (Aghdam et al., 2019) و خرمالو (Niazi et al., 2021) گزارش شده است که با تجمع فنول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین همراه بود.

بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت با غلظت‌های مختلف گابا و یا مدت زمان انبارمانی بر میزان کاروتنوئید میوه‌های عروسک پشت پرده نشان داد که در مورد هر دو گروه میوه های نارنجی و سبز مایل به زرد کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های شاهد بود و با افزایش غلظت گابا سطح کاروتنوئید میوه‌های هر دو گروه بیش‌تر بود. نتایج حاصل از تیمار گابا بر مقدار کاروتنوئید میوه‌ها با یافته‌های حسینی‌پور و همکاران (Hosseinipoor et al., 2021) در مورد تیمار پسته همخوانی داشت. کاروتنوئیدها مولکول-های ایزوپرنوئیدی هستند که توسط اندام‌های گیاهی دارای توانایی فتوسنتز یا فاقد آن ساخته می‌شوند. کاروتنوئیدها با حذف رادیکال‌های آزاد نقش مهمی را به‌عنوان آنتی‌اکسیدان ایفا می‌کنند (Hosseinipoor et al., 2021). در زمان رسیدن، در نتیجه تجمع کاروتنوئیدها و تخریب کلروفیل، رنگ میوه عروسک پشت پرده از سبز به سبز مایل به زرد و در نهایت به نارنجی تغییر می‌کند که از نظر وقوع پدیده چرخش رنگ در زمان رسیدن با میوه گوجه‌فرنگی مشابه است (Sun et al., 2015). گزارش شده‌است که با پیشرفت دوره نموی و شروع مرحله چرخش رنگ میوه، از طریق تجزیه کلروپلاست‌ها و تبدیل آن‌ها به کروموپلاست و نیز فعال‌سازی ژن-های مرتبط با زیست‌ساخت کاروتنوئیدها، تولید و تجمع کاروتنوئیدها افزایش می‌یابد (Etzbach et al., 2018).

در این پژوهش، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها با سنجش میزان مهار رادیکال‌های آزاد DPPH ارزیابی شد. توان مهار رادیکال های DPPH به‌طور عمده به حضور و مقادیر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی مرتبط است (Aghdam et al., 2016). بر مبنای یافته‌های این پژوهش دال بر حفظ بهتر و یا افزایش سطح آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند فنول‌ها، اسید آسکوربیک و کاروتنوئیدها در پاسخ به تیمار غلظت‌های گابا، سطح بالاتر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال‌های آزاد در میوه‌های تیمار شده نسبت به شاهد مورد انتظار بود. بررسی برهمکنش اثر مرحله بلوغ میوه در زمان برداشت با غلظت‌های مختلف گابا و یا مدت زمان انبارمانی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه عروسک پشت پرده نشان داد که از نظر آماری، کم‌ترین میزان این شاخص مربوط به میوه‌های شاهد از هر دو گروه مرحله بلوغ بود. هر دو گروه میوه‌ها در پاسخ به افزایش غلظت گابا به‌صورت معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تری داشتند که با نتایج اقدم و همکاران (Aghdam et al., 2016) از اثر تیمار گابا بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌های هلو همسو بود. البته شدت پاسخ‌گویی میوه‌های نارنجی رنگ عروسک پشت پرده نسبت به میوه‌های سبز مایل به زرد بیش‌تر بود.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر دال بر تأثیرگذاری مثبت تیمار پس از برداشت گابا بر کاهش شدت تنفس، بهبود فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و حفظ کیفیت و ارزش غذایی میوه عروسک پشت پرده در طول دوره انبارمانی بیست و یک روزه بود. بر مبنای یافته‌های پژوهش حاضر و با توجه به این که ترجیح و خواست دولت‌ها و مصرف‌کنندگان در سراسر دنیا بر استفاده از ترکیبات با منشا زیستی و بدون خطر به‌عنوان تیمارهای دوستدار محیط‌زیست و تضمین‌کننده سلامت مصرف کنندگان است، کاربرد تیمار گابا به‌منظور انبارمانی بهتر میوه عروسک پشت پرده توصیه می‌شود. از سوی دیگر، ارزیابی کارآیی تیمارهای مشابه بر کیفیت و سلامت انبارمانی سایر محصول‌های ارزشمند باغبانی پیشنهاد می‌شود.

References

1. Aghdam, M.S., Kakavand, F., Rabiei, V., Zaare-Nahandi, F., & Razavi, F. (2019). γ-Aminobutyric acid and nitric

oxide treatments preserve sensory and nutritional quality of cornelian cherry fruits during postharvest cold storage by delaying softening and enhancing phenols accumulation. *Scientia Horticulturae*, *246*, 812-817. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.064

2. Aghdam, M.S., Razavi, F., & Karamneghad, F. (2016). Maintaining the postharvest nutritional quality of peach fruits by γ-Aminobutyric acid. *Iranian Journal of Plant Physiology*, *5*(4), 1457-1463.
3. Balaguera-López, H.E., Martínez-Cárdenas, C.A., & Herrera-Arévalo, A. (2016). Effect of the maturity stage on the postharvest behavior of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits stored at room temperature. *Bioagro*, *28*(2), 117-124.
4. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, *28*(1), 25-30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5
5. Cárdenas-Barboza, L.C., Paredes-Córdoba, A.C., Serna-Cock, L., Guancha-Chalapud, M., & Torres-León, C. (2021). Quality of *Physalis peruviana* fruits coated with pectin and pectin reinforced with nanocellulose from *P. peruviana* calyces. *Heliyon*, *7*(9), e07988. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07988
6. Cheng, G.W., & Breen, P.J. (1991). Activity of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and concentrations of anthocyanins and phenolics in developing strawberry fruit. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *116*(5), 865-869. https://doi.org/10.21273/JASHS.116.5.865
7. Etzbach, L., Pfeiffer, A., Weber, F., & Schieber, A. (2018). Characterization of carotenoid profiles in goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruits at various ripening stages and in different plant tissues by HPLC-DAD-APCI-MSn. *Food Chemistry*, *245*, 508-517. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.120
8. Gao, H., Wu, S., Zeng, Q., Li, P., & Guan, W. (2018). Effects of exogenous γ-aminobutyric acid treatment on browning and food-borne pathogens in fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, *146*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.08.007
9. Ge, Y., Duan, B., Li, C., Tang, Q., Li, X., Wei, M., & Li, J. (2018). γ-Aminobutyric acid delays senescence of blueberry fruit by regulation of reactive oxygen species metabolism and phenylpropanoid pathway. *Scientia Horticulturae*, *240*, 303-309. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.044
10. González-Locarno, M., Maza Pautt, Y., Albis, A., López, E.F., & Grande Tovar, C.D. (2020). Assessment of chitosan-rue (*Ruta graveolens* L.) essential oil-based coatings on refrigerated cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) quality. *Applied Sciences*, *10*(8), 2684. https://doi.org/10.3390/app10082684
11. Guevara Collazos, A.J., Villagran Munar, E.A., Velasquez Ayala, F.A., & González Velandia, K.D. (2019). Evaluation of the postharvest behavior of cape gooseberry from conventional and agroecological production systems. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *10*(6), 1273-1285. https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1492
12. Habibi, F., Ramezanian, A., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2020). Blood Oranges maintain bioactive compounds and nutritional quality by postharvest treatments with γ-aminobutyric acid, methyl jasmonate or methyl salicylate during cold storage. *Food Chemistry*, *306*, 125634. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125634
13. Habibi, F., Ramezanian, A., Rahemi, M., Eshghi, S., Guillén, F., Serrano, M., & Valero, D. (2019). Postharvest treatments with γ-aminobutyric acid, methyl jasmonate, or methyl salicylate enhance chilling tolerance of blood orange fruit at prolonged cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *99*(14), 6408-6417. https://doi.org/10.1002/jsfa.9920
14. Hammetjo, B., Asghari, M.R., & Hasanpour, H. (2019). Effect of post-harvest application of gamma-aminobutyric acid and salicylic acid on the biochemical characteristics of Shabloon plum. *Pomology Research*, *4*(2), 18-28. (In Persian)
15. Heydarnazhad, R., Ghahremani, Z., Barzegar, T., & Rabiei, V. (2019). The effects of harvesting stage and chitosan coating on quality and shelf-life of *Physalis angulata* L. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *50*(1), 173-186.
16. Houshani, M., Mianabadi, M., Aghdasi, M., & Azimhosseini, M. (2015). Evaluation of methanolic extract antioxidant activity of the *Physalis alkekengi* during different stages of growth. *Journal of Plant Biology*, *14*(4), 101-114.
17. Hosseinipoor, B., Nazoori, F., & Mirdehghan, S.H. (2021). Study on storage of fresh pistachio cultivar ahmad aghaie using gamma aminobutyric acid and carnuba wax. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, *110*(18), 153-163. (In Persian with English abstract)
18. Kader, A.A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*, University of California. Agriculture and Natural Resources, Publication 3311: 535.
19. Kang, H.M., & Saltveit, M.E., (2002). Antioxidant capacity of lettuce leaf tissue increases after wounding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *50*, 7536–7541. https://doi.org/10.1021/jf020721c
20. Licodiedoff, S., Koslowski, L.A.D., Scartazzini, L., Monteiro, A.R., Ninow, J.L., & Borges, C.D. (2016). Conservation of *physalis* by edible coating of gelatin and calcium chloride. *International Food Research Journal*, *23*(4), 1629-1634.
21. Mekontso, F.N., Duan, W., El Hadji Malick Cisse, T.C., & Xu, X. (2021). Alleviation of postharvest chilling injury of carambola fruit by γ-aminobutyric acid: physiological, biochemical, and structural characterization. *Frontiers in*

Nutrition, *8*, 752583. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.752583

22. Nazoori, F., Zamani Bahramabadi, E., Mirdehghan, S.H., & Rafie, A. (2020). Extending the shelf life of pomegranate (*Punica granatum* L.) by GABA coating application. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(5), 2760-2772. https://doi.org/10.1007/s11694-020-00521-1
23. Niazi, Z., Razavi, F., Khademi, O., & Aghdam, M.S. (2021). Exogenous application of hydrogen sulfide and γ-aminobutyric acid alleviates chilling injury and preserves quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki*, cv. Karaj) during cold storage. *Scientia Horticulturae*, *285*, 110198. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110198
24. Olivares-Tenorio, M.L., Dekker, M., van Boekel, M.A., & Verkerk, R. (2017). Evaluating the effect of storage conditions on the shelf life of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *LWT*, *80*, 523-530. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.027
25. Palma, F., Carvajal, F., Jiménez-Muñoz, R., Pulido, A., Jamilena, M., & Garrido, D. (2019). Exogenous γ-aminobutyric acid treatment improves the cold tolerance of zucchini fruit during postharvest storage. *Plant Physiology and Biochemistry*, *136*, 188-195. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.01.023
26. Parsa, Z., Roozbehi, S., Hosseinifarahi, M., Radi, M., & Amiri, S. (2020). Integration of pomegranate peel extract (PPE) with calcium sulphate ($CaSO_4$): A friendly treatment for extending shelf-life and maintaining postharvest quality of sweet cherry fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(1), e15089. https://doi.org/10.1111/jfpp.15089
27. Rastegar, S., Khankahdani, H.H., & Rahimzadeh, M. (2020). Effect of γ-aminobutyric acid on the antioxidant system and biochemical changes of mango fruit during storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*(2), 778-789. https://doi.org/10.1007/s11694-019-00326-x
28. Razavi, F., Mahmoudi, R., Rabiei, V., Aghdam, M.S., & Soleimani A. (2018). Glycine betaine treatment attenuates chilling injury and maintains nutritional quality of hawthorn fruit during storage at low temperature. *Scientia Horticulturae*, *233*, 188-194. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.053
29. Raznjoo, S. (1997). *Manual of analysis of fruit and vegetables*. 9th ed. Tata MCGraw-Hill. New Dehli.
30. Rolle, L., Torchio, F., Giacosa, S., & Gerbi, V. (2009). Modifications of mechanical characteristics and phenolic composition in berry skins and seeds of Mondeuse winegrapes throughout the on-vine drying process. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *89*(11), 1973-1980. https://doi.org/10.1002/jsfa.3686
31. Sheng, L., Shen, D., Luo, Y., Sun, X., Wang, J., Luo, T., Zeng, Y., Xu, J., Deng, X., & Cheng Y. (2017). Exogenous γ-aminobutyric acid treatment affects citrate and amino acid accumulation to improve fruit quality and storage performance of postharvest citrus fruit. *Food Chemistry*, *216*, 138-145. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.024
32. Sun, Q., Zhang, N., Wang, J., Zhang, H., Li, D., Shi, J., Li, R., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., & Guo, Y.D. (2015). Melatonin promotes ripening and improves quality of tomato fruit during postharvest life. *Journal of Experimental Botany*, *66*(3), 657-668. https://doi.org/10.1093/jxb/eru332
33. Taghipour, L., & Assar, P. (2021). Postharvest hot water treatment as a non-chemical alternative to fungicide: physicochemical changes and adaptability to oxidative stress in sweet lime fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, *22*(4), 483-496. (In Persian with English abstract)
34. Taghipour, L., Rahemi, M., & Assar, P. (2015). Determining the physicochemical changes and time of chilling injury incidence during cold storage of pomegranate fruit. *Journal of Agricultural Science*, *60*(4), 465-476. https://doi.org/10.2298/JAS1504465T
35. Valdenegro, M., Fuentes, L., Herrera, R., & Moya-León, M.A. (2012). Changes in antioxidant capacity during development and ripening of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) fruit and in response to 1-methylcyclopropene treatment. *Postharvest Biology and Technology*, *67*, 110-117. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.12.021
36. Wang, Y., Luo, Z., Huang, X., Yang, K., Gao, S., & Du, R. (2014). Effect of exogenous γ-aminobutyric acid (GABA) treatment on chilling injury and antioxidant capacity in banana peel. *Scientia Horticulturae*, *168*, 132-137. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.01.022
37. Yang, A., Cao, S., Yang, Z., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). γ-Aminobutyric acid treatment reduces chilling injury and activates the defence response of peach fruit. *Food Chemistry*, *129*(4), 1619-1622. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.06.018
38. Yen, G.C., & Duh, P.D. (1994). Scavenging effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active-oxygen species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *42*(3), 629-632. https://doi.org/10.1021/jf00039a005
39. Yu, C., Zeng, L., Sheng, K., Chen, F., Zhou, T., Zheng, X., & Yu, T. (2014). γ-Aminobutyric acid induces resistance against *Penicillium expansum* by priming of defence responses in pear fruit. *Food Chemistry*, *159*, 29-37. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.011
40. Zarei, L., Koushesh Saba, M., & Vafaee, Y. (2020). Effect of gamma-amino-butyric acid (GABA) foliar application on chilling and postharvest quality of tomato (cv. Newton). *Journal of Plant Productions*, *43*(2), 199-212. https://doi.org/10.22055/ppd.2020.27796.1681